果樹的合理化施肥與營養管理

向為民　黃維廷
農委會農業試驗所 農業化學系

摘　　要

國內水果生產肥料投入量極高，又未能有效地的執行土壤分析與植體營養診斷工作；在果農追求高產、高品質的企圖下，難免促成過度施肥的不當操作。調查資料顯示，國內若干果園存在土壤養分偏頗現象，表土酸化、土壤有效性磷偏高、土壤鉀素含量偏低等；同時果園葉片營養診斷資訊顯示，氮、磷濃度偏高而鉀、鎂濃度偏低。

評估果園營養狀態的工具，主要是土壤和植物體的調查與分析。多年生果樹的根系，相較於一年生的作物而言，分布在比較深的土壤剖面內，根在個別土層的分布與型態受該土層土壤肥力的影響而有不同，此外園區內土壤的變異也大，一般很難單獨依賴土壤的分析資料做為營養監測或是施肥推薦的工具。

利用葉片分析方法，診斷作物營養狀態，以其葉片取樣容易且變異較小，而成為較佳的方法。然而評估多年生木本果樹礦質要素的組態，原本就是一種挑戰，因為許多熱、亞熱帶果樹具有複雜以及易變的物候循環(phenological cycles)，影響果樹礦質要素的吸收

與運移，加以果樹深廣的根系分布，使得例常性的表土分析無法提供足夠的資訊來評估土壤的供應量;另此樹體的組織與器官可以貯蓄礦質要素，緩衝許多短期的礦物質缺乏。雖然如此，累積長期多年的植體與土壤的分析資料,仍是建立營養管理對生產的影響關係的重要方法。

營養狀況之診斷固然不易,檢討改善營養管理以及設立合理化的施肥計畫更屬困難,唯有依據科學的原則與實際田間研究才能做好。施肥的最佳管理操作除了從經濟面考慮之外，同時必需考慮社會與環境。除了增加收益，同時需要維持或增進土壤品質、降低水環境之污染以及維護空氣品質。因而必須設立效能目標，研發施肥技術，以增進養分的效能兼顧產值與環境，建立合理化施肥管理體系。

為求增進肥料的效能、提高作物生產、增加收益、維持或增進土壤品質、降低污染、保護環境品質，建立果園營養診斷體系與營養管理方法亟待努力。本文謹就土壤肥力分析與植體營養診斷、施肥以及肥灌(fertigation)方法加以說明，期能對果樹栽培有所助益。

前　　言

台灣果樹栽培面積約有 21 萬公頃，栽培總類多達 30 餘種；有溫帶的梨，亞熱帶的柳橙、荔枝以及熱帶的芒果、香蕉等；其中以

熱、亞熱帶果樹最具特色，也被認為是國內最具競爭力的農產品品類。

以經濟著眼的果樹栽培，總是期望得到最大的產值，生產符合市場品質要求產品的最大產量。在國內，果品品質不單是決定價格，在高消費市場的競爭而言，它是唯一、最重要的必要條件。眾所周知，果樹的營養狀況與果實產量以及品質的關係密切；因此，分析檢討果園的營養管理，尋求生產上的進一步改善，十分地重要。此外果樹的營養管理也和其他方面的管理息息相關，例如病蟲害管理、修剪整枝、採收後處理等。

營養管理主要的目標，在於調控果樹在健康生長的營養條件下，避免任何要素的缺乏或是毒害的發生，此將嚴重影響當年或是長期多年的生產。營養管理必需評估果園的營養狀態，考慮氣候、土壤、作物、品種、目標產量與品質，以及其他的管理方式(修剪、覆蓋作物、灌溉…)，擬定有效合理的施肥計畫；僅憑經驗來施肥的管理方式，常有過量或是偏頗施肥的現象發生。

國內多年來宣導合理化施肥，目的在於促使農民重視土壤與果樹營養的管理；然而自田間調查的結果檢視，農民偏頗施肥的現象仍然普遍存在；主要為氮、磷濃度偏高而鉀、鎂濃度偏低。雖然高產值的果園，其葉片要素含量未必恰好在適宜濃度的範圍之內；然而田間調查常見到氮肥施用過多，致使夏秋季果樹新梢生長旺盛，

從而影響果實收量與品質；酸性土壤環境下，鎂肥需要量較高的果樹，顯現出缺乏的徵狀；硼的缺乏與毒害(過量施用)的現象。矯治國內偏頗施肥果園的經驗得知，絕大多數田間發生的營養失衡現象，是可以利用施肥調整與強化灌溉，而獲得解決。多數果園在追求高產與高品質的企圖之下，未能有效執行土壤與植體營養的診斷工作，肥料投入量過高；此外施用三要素肥料激勵果樹生長之同時，未能注意搭配次要與微量元素的平衡施肥，導致要素缺乏的現象發生。

評估果園營養狀態的工具，主要是土壤和植體的調查與分析。多年生果樹的根系，相較於一年生的作物而言，分布在比較深的土壤剖面內，根在個別土層的分布與型態受該土層土壤肥力(物理的、化學的、生物的)之影響而有不同，此外園區內土壤的變異也大，一般很難單獨依賴土壤化學性的分析資料做為營養監測或是施肥推薦工具。

利用葉片分析診斷作物營養狀態，以其葉片取樣容易且變異較小，而成為較佳的方法。然而評估多年生木本果樹礦質要素的組態，原本就是一種挑戰，因為許多熱、亞熱帶果樹具有複雜以及易變的物候循環(phenological cycles)，影響果樹礦質要素的吸收與運移，加以果樹深廣的根系分布，使得例常性的表土分析無法提供足夠的資訊來評估土壤的供應量；另此樹體的組織與器官可以貯蓄礦

質要素，緩衝許多短期的礦物質缺乏。雖然如此，累積長期多年的植體與土壤的分析資料，仍是建立營養管理對生產的影響關係的重要方法。

樹體營養狀況之診斷固然不易，檢討改善營養管理以及設立合理化的施肥計畫更屬不易，唯有依據科學的原則與實際田間研究才能做好。施肥的最佳管理操作除了從經濟面考慮之外，同時必需考慮社會與環境。除了增加收益同時需要維持或增進土壤品質、降低水環境之污染以及維護空氣品質。因而必須設立效能目標，研發施肥技術，以增進養分的效能兼顧產值與環境，建立合理化施肥管理體系。以下擬就土壤與植體診斷以及果樹合理化施肥方法加以介紹說明，並求指正。

土壤肥力分析

台灣果園遍佈全台，以淺山丘陵地區與部分的平原耕地為主要的栽培地；依據台灣耕地土壤與山坡地土壤的詳測調查，有一千多個土系，這些土系若摒除土壤質地、有效深度等極具管理上參考的因子不理會，僅就耕地土壤之母質、沉積時間、石灰等物質之有無，以及坡地土壤之母質、堆積方式、土壤顏色等因子之異同做為分類依據，也有三十餘種不同的土壤類別，可謂繁雜。

台灣坡地、台地以及老沖積土壤，在高溫多雨的氣候條件下，

所化育的土層多屬酸性；果樹種植之前的土壤分析可以提供石灰需要與否，以及選用何種石灰資材補充交換性鹽基的資訊，是相當有用的資料。針對平原沖積土壤為果樹園利用者，則種植前的土壤物理性狀的調查與分析，相對地重要；此是因為經過多年耕種後，耕土層下方普遍存在犁底層，其總體密度可以高達 1.78 Mgm^{-3}；此外台灣新沖積土壤的心土，一般也缺乏構造發育，凡此對根系的伸展，均可能有負面的影響。

高等植物生長的必要元素，已知者有十七種；台灣土壤作為果樹栽培利用，不論耕地與坡地均需要補充者有氮、磷、鉀、鈣、鎂，同時在某些特別土壤上的栽培，還需要注意微量元素鋅、錳、鐵、硼的施用，此類微量元素可能缺乏的原因包括：土壤過酸或石灰質含量高、土壤有機質含量不足、粗質地土壤、礦物不易風化等等；此外肥料三要素的施用未注意搭配次要與微量元素的平衡施肥，也是缺乏主因。

個別土壤作為果樹生產利用，其施肥管理的方式必有不同。如何建立良好的施肥技術以提升肥料的利用效率，達到經濟生產的目標，同時兼顧地力維護以及減少肥料所造成的負面影響，是國內果樹生產必需要面對的課題。

土壤分析，是了解土壤磷、鉀、鈣、鎂等土壤養份濃度水平的最好的方法，雖然果樹園的土壤養分含量與植體要素濃度之間的相

關性一直難以建立；土壤養分含量分析數值低的果園，果樹葉片中可能有足夠的要素含量。此是因為多年生果樹體內可以貯積大量營養要素，而要素在體內具有移動的特性，可以緩衝短期的缺乏。土壤養分含量存在空間上的變異，土壤樣品是否能夠代表全根域的土壤養分含量，是否能夠代表整個果園的土壤養分狀態，為土壤取樣重要的考量因子。土壤的取樣技術與分析結果的闡釋因而必需謹慎。

一、果園土壤取樣

果園土壤取樣有若干因子必考慮，以期所取得的樣本能代表該園的土壤，分析的結果始能作正確管理的依據。

首先取樣之前針對田區土壤的變異進行分區，儘量要求每一樣品所代表的是一個均勻區塊內的土壤。如果區域內存在有不同的地形條件、土壤剖面質地、排水狀況、不透水層，或是有不同的作物栽培、土壤管理與施肥的歷史，凡此都需要製邊界圖進行分區取樣；單一取樣區域也不宜大過 2 公頃。採取樣本的最大深度，應視土壤有效深度以及作物的根性而定。

新植果園種植之前的土壤取樣，建議以土鑽為工具，較為便利。先以土鑽洞法探勘土壤剖面，觀察紀錄個別土層的上下限深度、土壤顏色與斑紋、質地；判別密實土層或不透水層是否存在及

其深度位置，觀察紀錄工作結束後，進一步分層採取土樣。分層方式可以是依等深度距離每 20cm 深度為一層，分五或六層取樣；也可以是依土壤剖面層次，分層取樣至所需深度(120 或 150 cm)。每個分區需要採取 5~10 點混合成為一個樣本。

善於利用土壤資料庫的資料或是可以粗放了解整個地區的土壤肥力概況。依照果園的地理位置，參閱各縣土壤調查報告或是經由農試所「土壤 GIS 查詢系統」網頁，取得管理上可資利用的土壤理化性質的分析資料，作一般性的參考。

一般撒施在地面上的肥料或是石灰等改良物質，其向下移動的速度十分緩慢。水、旱田施肥後會直接將肥料犁入土壤中；磷、鉀、鈣、鎂等肥料要素，在表土中的含量會因此而增加，但在短時間內也不容易移動進入心土中(粗質地土壤肥料要素較容易由上層土壤淋洗至下層土壤中)。採樣時先區分出表土(耕犁層)與亞表土(受耕犁影響的下層土)分別取樣分析，應該是較為合理的取樣方式；表土的分析結果可以視為最近期間施肥的累積與影響的結果，亞表土(subsoil)的分析數據則可能是原有的土壤肥力狀態，或者可以視為長期施肥以及土壤管理的影響。

以土鑽洞法調查表土、亞表土與心土的化育土層，以觸摸的方法判別土壤質地，以構造、顏色與斑紋的分佈判別排水等級；進而分層取樣逕行化學性的分析；所得資料可以判斷是否存在限制根系

生長的因子，以及肥力狀況；這將助益種樹前的土壤 pH 調整以及肥料的深施，補充缺乏的要素。

已經建成的果樹園，例常性(原則上 2 年一次)的土壤取樣分析，是觀察施肥位置點，土壤化學性及肥力所發生的變化，因此土壤取樣點將依據樹齡及施肥方法而改變；取樣深度則可以依等距離，每 20cm 一層，取 2 層土樣供驗。粗質地土壤，礦質要素容易自上層淋洗到下層的，深處土壤礦質要素濃度的監測，有助於防止不必要的肥料施用，20cm 的表土取樣可能低估土壤的肥力。

二、土壤分析的闡釋

整體的土壤生產力當中，土壤物理性、化學性與生物性的肥力，都是十分基礎而且重要的。果樹園適宜的土壤有效深度在 150cm 以上最為理想，然而經驗顯示，在排水良好的土壤，有效根深 90cm，經由灌溉施肥就可能有非常好的產量；在有效深度 45cm 的土壤上，若有良好的灌溉與管理，也可以有非常好的生產力。

土壤質地以中質地或中粗質地為佳，如坋質壤土、壤土或是砂質壤土。粗質地的砂土排水良好，但一般土壤的保水、保肥力低。細質地、缺乏構造發育的沖積土壤，作為果樹栽培而言，其排水、通氣皆不理想。深耕破壞影響水分傳導的密實土層，可以顯著改善土壤的排水；但對於耕性不佳的細質地土壤，土壤碎裂後若以大

的、密實的土塊為多數，仍然缺少小土塊，則仍將不利於水分與養分的管理。

土壤養份含量是影響土壤生產力的重要因子，為了評估土壤養分供應能力、土壤保肥力、以及土壤性質影響肥料的有效性而進行的土壤化學性分析有若干項目，分析項目與闡釋摘要如表 1.

表 1.土壤化學性分析與闡釋摘要

分析項目	分析方法	單位	級次	範圍	一般地闡釋
酸鹼度值 pH	土：水 1：1		極高	＞8.5	鹼土： Ca 與 Mg 的有效性有降低的傾向；Na 含量可能高；可能存在 B 毒害。
			高	7.0-8.5	pH 高 P 與 B 的有效性降低;7 以上增加 Cu、Fe、Mn、Zn 缺乏的可能。
			中	5.5-7.0	大多數適宜，5.5 對某些作物可能偏酸。
			低	＜5.5	酸土：可能發生 A1 毒害及 Fe、Mn 的過量；可能缺乏 Ca、K、N、Mg、Mo、P、S；pH ＜5 可能缺 B。
陽離子交換能量 CEC	中性醋酸銨	me/100g soil	極高、高	＞40 25-40 15-25	一般皆評定為良好的農地土壤，僅需少量 Ca、K 肥，台灣罕見。一般適於作物栽培,需施肥。

			中 低 極低	5-15 ＜5	灌溉耕地利用的邊際土壤。 養份保留能力低，不適於灌溉耕地利用 (水稻＜4)。
鹽基飽和度 BSP	計算導出：可交換性鹽基/CEC	%	高 中 低	＞60 20-60 ＜20	一般為沃土 低肥力土壤
交換性陽離子					
Ca	同 CEC	me/100g soil	高 低	＞10 ＜4	直接鈣肥效果遠不如因為鈣調整pH的增產效果；高鈣水平土壤施鈣，在高鈉土壤上亦有肥效
Mg		me/100g soil	高 低	＞4.0 ＜0.5	在粗質地酸性土壤上容易缺鎂；高鈣土壤鎂的有效性低。
K		me/100g soil	高	＞0.6	不易有鉀肥效益；K 過高的負效應與高 Na 相似。
交換性 K 百分率 EKP	計算導出 K^+/CEC	%	低 高 低	＜0.2 25 2	施 K 多數有效。 百分率高的負效應類同 ESP　15%。
Na	同 CEC	me/100g soil	高	＞1	鹼土或鹽土。
交換性 Na 百分率 ESP	計算導出 Na^+/CEC	%	高	＞15	鹼土或鹽土。
Al：CEC	1MKcl	%	高 中	＜85 30-85	僅少數作物具耐性。 普遍作物受害。

			低	＞30	敏感作物受影響。
交換性陽離子比					
Ca：Mg Mg：K	同 CEC			5：1 3-5：1 ＜3：1 ＜1：2	在高 pH 下 Mg 與 P 可能受抑制。 一般範圍。 可能缺 Ca;P 可能受抑制。 Mg 吸收受影響；低 Mg 含量條件下可能缺 Mg。
有效性 P	Bray	Ppm	高 中 低	＞50 50-25 ＜25	高數值較難闡釋。
有效性 N	Micro Kjeldahl	%	高 中 低	＞0.5 0.2-0.5 ＜0.2	依土壤及立地條件闡釋。
有機質	Walkley-Black：有機 C × 1.72	%	高 中 低	＞5 5-2 ＜2	依土壤及立地條件闡釋。
C：N	計算導出				一般溫帶區的值為 10：1，熱帶區稍低。草桿殘體低；豆科高。

三、肥力改善與整地

果樹園為求擴大產能，可在種植之前進行肥力改善，日本在高成長時期(1970 年以前)農業政策目標之一為：「提高生產力，增加農業從事者之所得」；在此政策下，而有地力保全基本調查與土壤改善對策。針對樹園地土壤自然肥沃度的改善目標為：CEC

20me/100g soil、磷酸吸收係數＜700 mgP_2O_5/100g soil、鹽基狀態 pH(H_2O) 5.5 以上、交換性 Ca＞50%；土壤養分含量的改善目標則為：石灰飽和度 35-50 %、CaO/MgO 比值 7、Mg 飽和度 4-8 %、K 飽和度 1-7 %、CaO /K_2O 比值 4-1.1、有效態 $P_2O_5$100-300ppm，或可作為參考。

土壤肥力可以從保肥力、養分供應能力以及土壤性質影響肥料的有效性，三個面向來觀察。保肥力(CEC)的大小主要由土壤粘粒的種類與佔有土壤粒子的百分率，以及土壤中的有機質含量，尤其指腐植物質的多寡所決定的。台灣地區農田土壤溫度境況為炎熱(hyperthemic)與熱(thermic)；水分則以濕潤 (udic)為主，降雨量大於蒸發量的。在高溫多濕的條件之下土壤有機質分解快速。水稻耕作的土壤有機質稍可維持在 2%左右的中低等級，但是在旱作連作田，土壤不刻意湛水、且年年整地翻犁加速有機質分解，僅能維持 1%或低於 1%之有機質含量。

在台灣沖積平原，土壤粘粒含量不高，而以坋粒含量高為其主要特徵；果樹適栽的土壤以中質地或中粗質地為宜。此類低有機質含量的沖積土壤，其 CEC 多在 4 至 15 me./100g soil 之間。構造較佳的紅土台地，粘土含量高但有機質含量同樣低下；洪積母質紅土的 CEC 多在 10me 以下；火成岩母質者則相對較高 CEC 約在 15~20me。坡地崩積土壤有機質小於 2%者，其 CEC 小於 10me。

一般而言，中等保肥力的土壤 CEC 的範圍在 15~25 me，此類土壤栽培果樹必需按時施肥；FAO 的低標在 8-10 me，為適宜作灌溉耕地利用土壤的下限。

土壤對磷肥的固定能力(以磷酸吸收係數表示)，被視為土壤重要的肥力因子，磷肥施用後能為當季作物所吸收利用的僅佔施用量的 5~20%，絕大部份為土壤固定。風化程度高的酸性土壤，含高量非結晶性的鋁、鐵氧化物質，石灰質土壤的碳酸鈣，土壤粘粒本身都會固定水溶性磷肥，發生吸附或是沉澱，因而降低磷肥的有效性。磷和氧化鋁、鐵的沉澱物鍵結強度高於磷和碳酸鈣的沉澱物；紅壤的磷肥利用率往往低於 10%。

土壤吸附的陽離子之中，交換性氫及鋁為產酸性的離子；交換性鈣、鎂、鉀、鈉等則為鹽基。可交換性鹽基佔 CEC 的百分比為鹽基飽和度，鹽基飽和度在 80%以上，交換性鈣飽和度在 50%以上，土壤酸鹼度值(pH)在 6.0-6.5 之間，一般認為是果樹園營養管理的目標之一，交換性鋁元素不高的土壤，pH 在 5.5 以上或許仍然適宜。當然也需要考慮作物對酸性的耐度與嗜好性；如香蕉在土壤 pH6.0-7.5，鳳梨在 pH5.0-6.5 的範圍內都可以得到滿意的產量。pH＜5.5 時鋁的毒害，鐵、錳的過量以及磷、鉀、鈣、鎂元素的缺乏皆可能發生；pH＜5 的強酸性土壤硼素的缺乏必須特別地加以注意。

土壤養分含量分析以針對植物可以利用的要素含量為之。以氮素為例，有機氮的分解速率受土壤環境影響，釋放量難以估算；基本上以增加土壤腐植含量為管理目標，期以增進地力。大面積栽培之旱作，在施氮肥之前多以萃取方式速測土壤中的無機氮素(主要為硝酸態氮)以合理化施肥量，節省成本。磷素在土壤溶液中的量相當的低，磷溶液高於5ppm時則發生磷酸鐵或磷酸鋁的沉澱；因此多以萃取的方式測量有效性磷，如 Bray 或 Olsen 的方法。鉀、鈣、鎂等要素多以置換性的方法萃取交換性的要素含量為評估使用。

土壤分析顯示土壤中養分含量的水準，雖然其與作物的營養水平之間，顯著性的相關難以成立，但是藉由土壤分析可以明瞭果樹是否生長在肥沃的土壤上，更重要的是認知土壤的性質，例如酸鹼度影響肥料的有效性。

施肥有所謂針對作物施肥與針對土壤施肥的策略，後者以地力增進與維持著眼進行施肥管理；藉以提升土壤肥力、調控土壤酸鹼值、增加土壤移動性慢的要素濃度(有效性磷、鉀，交換性鈣、鎂、鉀)，維持土壤在肥沃的狀態下，供果樹吸收利用。農業試驗累積在果樹園土壤營養管理的田間經驗，有土壤養分適宜範圍的建議，作為診斷果園肥力狀況的參考。

表 2.土壤養分適宜範圍(李艷琪、張庚鵬，未發表)

參考值	pH	電導度	有機質	有效性氮	有效性磷	交換性鉀	交換性鈣	交換性鎂	交換性鈉
		mS/cm	%	--------------------------.mg/kg.--------------------------					
	5.0-6.8	0.25-0.60	>2.0	20-100	50-250	200-500	1000-3000	50-200	<100

註：pH(土/水：1/1)、EC(土/水：1/5)、有機質含量(比色或灰化法)、有效態 N(2NKCl 萃取)、有效性磷(Bray No.1 或 Olsen)、交換性鉀、鈉、鈣、鎂(1N 醋酸銨淬取)，微量元素鐵、錳、銅、鋅(稀鹽酸萃取)、硼(Mehlich No.3)。

果園種植之前整地工作包含：(1)土壤調查，物理性的檢驗與化學性的分析；(2)有機資材、石灰、磷鉀肥等基肥的施用；(3)是需要進行深耕或植穴處理或施作高畦；(4)坡地的水土保持措施。整地工作的目標則包含：(1) 改進根部生長；(2) 改善排水減少地表逕流發生；(3)提升雨水及灌溉水的利用效率；(4) 提升營養要素的利用效率。

植體的營養診斷

果樹的營養診斷常以「葉片分析」為主要工具，是基於果樹的生長及產量和葉片中的要素濃度之間，存有特定的函數關係；葉片能夠反映植株營養狀況。但是葉片要素含量的分析數值，則受作物本身條件、取樣時期和取樣部位以及栽培環境的影響而存在變異；因此必須探討葉片要素含量在樹體內、樹體之間、果園內以及個別

果園之間存在的變異，據以擬定取樣方法。確定取樣方法後，進而經由田間施肥試驗與廣泛的果園調查，得到要素濃度與果樹產量的函數關係，用以建議要素含量的臨界值(Critical Value；最大產量的90%)與適宜濃度範圍(Adequate zone；樹體不存在缺乏或毒害的徵狀)，作為營養診斷之基礎。

果樹栽培雖然有多種不同的營養管理策略，但建立在要素含量臨界值(CV)概念下的，是最為重要與形式簡單的策略之一；用施肥來保證葉片要素濃度超過已經確定為好產量(或好品質)所建議的臨界值。在這種營養管理方法下，葉片分析只是提供一個要素含量是否適合或缺乏的指示，而不是用在施肥操作上、不是用來決定肥料施用量或者是施肥時間的訊息。

臺灣有關應用葉片分析技術，進行果園營養診斷之研究，最早為邱再發(1976)於柑橘、梨、蘋果等建立營養診斷之適宜濃度範圍，其後張淑賢等(1984)就椪柑及柳橙進一步以田間試驗校準氮、鉀等大量要素含量的適宜濃度範圍。其間由於水果價格日漸增高，各地區之農改場亦紛紛就其轄區內重要經濟果樹進行研究，獲致成果，暫訂柑橘、梨、葡萄、枇杷、楊桃、芒果、蓮霧、番荔枝、荔枝、桃等果樹之葉片要素濃度標準，同時參照土壤分析數值，作為營養診斷依據，推薦按生產者慣用施肥量增、減施肥。目前柑桔的田間試驗資料豐富，其他果樹以暫引國外基準者為多，因此多為輔

助現場診斷使用，仍須借重現場勘察確認亦或是修正診斷結果。至於要素含量臨界值的資料實在缺乏;有關個別果樹的葉片分析取樣方法以及適宜濃度範圍則散見各試驗改良場所的出版物間。

多年的田間試驗得到產量(品質)和葉片中的要素濃度之間的函數關係，卻難免資料的分散現象。許多報告顯示，高產量、高品質生產的樹果，其葉片礦質要素的組成，存在很大的變異；所謂的適當範圍，僅能當作一般性的指標。在葉片分析值作營養診斷時，需要同時比對往年的土壤與葉片分析數值，以及前此季節作物生長的狀況與施肥的歷史，綜合分析以後，才能做合理的闡釋以及進一步的行施肥推薦。Alva, A. K., et al. (2006)在為期 6 年的柑桔田間施肥試驗報告中顯示，葉片 N、K 濃度處於 Critical Value 的產量資料數值分散範圍極大(最高產量為 100%，最低則約 50%)；由此可以瞭解臨界值(Critical Value)濃度在應用上的不容易；同時資料的建立也極為不易。

葉片取樣另外必須面對田間的變異，要素濃度在時間以及空間上所存在的變異是診斷系統上容易被忽略的，通常是 1 個樣品代表田間營養的平均值，代表整個生長季節所有營養管理的成果，對於機動調整施肥(每年 6 次以上的施肥)助益有限，參考性質遠大於實際操作運用。有必要發展低價格、攜帶式的器具，可以遙感或是 in situ 監控植體(以及土壤)營養狀態。

目視判別營養要素缺乏和毒害的徵狀，也常應用在營養診斷，缺乏和毒害的徵狀的辨視，需要與土壤、葉片分析，在穩固的準則上同時利用，因為這 3 種方法都有其極限。營養要素缺乏和毒害徵狀，在各別果樹的栽培書籍中，均有文字或影像資料描述之。以芒果為例，Litz, R. E. (2007)針對各種要素(例如 N)的來源、吸收、轉移、缺乏與毒害徵狀都有詳細的描述。

合理化施肥方法

經濟、社會與環保議題持續推動施肥管理技術的發展，唯有在三個面向的利害關係與執行者之間的相互協調，進而達到各自預定的合理目標，才能創造永續發展的農業。管理者必須考慮前述的預定目標，針對作物需求、果園的立地條件(土壤、氣候、灌溉、敷覆蓋等果園管理系統)、肥料之取得難易(物流)等，來規劃。主要在於增進肥料的效能、提高作物生產(產量與品質)、增加收益、維持或增進土壤品質(永續性；一樣的投入情況產量不致下降)、降低地下與地面水的污染、保護空氣品質以及降低溫室氣體的排放(環境健康)。

這樣的營養管理與施肥技術，需要具備足夠的知識，瞭解果樹需要肥料的時間點、需要量、施用後預期的生產回饋為何。國際植物營養學會(International Plant Nutrition Institute)推動施肥的 4R 策略(right rate、right source、right time、right placement)，以期建立

肥料施的 BMP (Best Management Practices)，相關架構內容值得參考。基本上均需要依據科學的原則與實際的田間研究，考慮立地條件、作物品種，社經情況(機械化程度)，尋求正確的施肥。

針對土壤施肥的策略，係藉著土壤肥力的提升維持土壤在肥沃的狀態下，供果樹吸收利用；針對作物施肥(fertilizing crops)則針對收穫移除的養分給予補充，維持土壤在適當的理化性質，但是將土壤平衡在低肥力狀態。

施肥量取決於作物收穫修剪移除量、土壤供應量、殘株循環利用、肥料的有效性(被固定與流失量)等諸多因子。僅有在成功建立產量監控與預估的技術，才能在較早期(營養生長)調整施肥量，以期施肥能夠配合產量；如若不然，為了確保高產而進行的高量施肥難以避免。也需要確立施肥與作物養分吸收(或產量)的相關性才能決定合理的施肥量。唯有前項技術成熟地配合提高肥料利用率的施肥方法(例如 fertigatio)方能降低施肥量，合理化施肥。最終若能針對田間的變異進行變率施肥(variable rate application)，或許又可以降低施肥總量。

肥　灌

肥灌(fertigation)指的是同步進行施肥和灌溉操作，將水溶性肥料加到灌溉水中，利用灌溉系統施肥。在灌溉水源缺乏的國家或地

區，因為長期關注於節水灌溉技術，而發展出微噴灌以及滴灌的灌溉方法，這些方法將灌溉水侷限在部分的土壤，而不是全面積的土體灌水；地表潤濕的面積太小，導致撒施的肥料無法配合水分的分布與溶解，因而同時發展出肥料稀釋器，將濃厚肥料溶液加入灌溉流水中稀釋後施入土壤中。配合侷限灌溉，施肥位置的土壤一定是濕潤的，也是根集中的地方，肥料被吸收利用的效率因而增加，施肥量可以減少；這不僅降低生產成本而且減少肥料被淋洗因而引起的污染。

在某個濃度範圍內，肥料濃度和 EC 值呈現直線相關， EC 值可以直接代表肥料的濃度，作為控制的設定值。有時候肥料溶液會加入酸液，以平衡灌溉水中的碳酸根；平衡碳酸根最常用的是硝酸，因為 S、P 兩元素(硫酸或磷酸)，在一般耕土中並不缺乏。

肥灌可以針對不同生長時期與不同氣候條件，靈活使用不同配方的肥料，正確施肥；此外還有其他的優點包括：(1)降低施肥勞力，(2)保持田區適當的溼度與乾爽，延緩病菌的發生與危害，(3)可隨時施肥，施肥不受田區通行條件影響。

利用數種單一化合物可以組成多樣的肥料配方，市面上也有不同種類的水溶性複合肥料；可以在不同的生長季節改換肥料單，以適合營養生長、開花、果實肥大、增甜等各種階段下的操作需求。任何一種作物的施肥計畫都是建立作物產量與品質的關係上面。

實際的施肥上，由營養生長、到果實成熟，氮/鉀的比率會調整；傳統施肥的一次肥料量，在肥灌施肥方法下，可以分成多次施用。每單獨一次的肥灌操作，注意僅僅利用灌溉的中段 1/2 的時間將肥料溶液注入，前段灌溉水不含肥料，先行濕潤土壤可以避免肥傷，後段灌溉水用來清洗管路降低堵塞的機會。

結　　語

國內熱帶果樹具有產期調節、採收期長與採收量大等栽培管理的特性；現有之土壤與植體分析營養診斷方法與標準，實已不敷作為合理化施肥使用，亟需適度調整修改與校準。

果樹在不同季節或是不同生長階段(採收後修剪更新、枝梢成長、花芽分化等等)，必需配搭不同的之養份供給與水分管理以培養枝條、蓄積養分、優化果品與產量。市售果實品質差異極大且不穩定，主要原因之一是肥培管理的偏失。研究推廣人員必須經由實地調查果園營養境況，檢討農友施肥管理缺失，發展配合栽培模式之土壤與肥培管理技術，建立具實用且富彈性調整特性的營養管理技術。

以肥料試驗探討要素含量的臨界值與適宜濃度範圍仍需積極進行；除此之外以既定基準，依照各地區果園的特性與施肥缺失，進行管理作業的修正與調整，同時依照調查資料修訂診斷標準，以

求儘速導正施肥缺失。

參考文獻

1.連深. 1989. 植物營養診斷應用上之限制因素及因應. 果園作物營養診斷應用研習會專輯. 台灣農試所特刊第 28 號. P. 73-79。

2.張淑賢. 2002. 臺灣熱帶果樹肥培管理之研究與展望. 高雄區農業改良場建場百週年慶講稿. www.kdais.gov.tw/k100/paper/05.doc.

3.Alva, A.K., S. Paramasivam, T.A. Obreza and A.W. Schumann, 2006. Nitrogen best management practice for citrus trees I. Fruit yield, Quality, and Leaf Nutritional Status Sci. Hort. 107 P.233-244

4.Bartholomew, D. P. , Robert E. Paull, and K. G. Rohrbach,(ed.) 2003 The Pineapple: Botany, Production and Uses,Baker & Taylor Books.

5.IPNI. 2011. The 4Rs:Right Source, Right Rate, Right Time, Right Place http://www.ipni.net/4r

6.Landon, J. R., (ed.), 1984, Booker Tropical Soil Manual, Longman Inc, N.Y.

7.Lamm, F. R., J.E. Ayars, and F. S. Nakayama, (ed.), 2007 Microirrigation for crop production

8.Litz, R.E., (ed.), 2009 The Mango: Botany, Production and Uses, 2nd Edition.. CAB International Press.

9.Reuter, D., and J.B. Robinson, (ed.). 1997. Plant Analysis: An Interpretation Manual（2nd edition）, Csiro Publishing, Australia.

10.Schaffer, B., and Peter C. Andersen, (ed.), 1994 Handbook of Environmental Physiology of Fruit Crops: Volume II: Sub-Tropical and Tropical Crops, CRC-Press.

11.Westerman, R.L., (ed.). 1990. Soil Testing and Plant Analysis, 3rd edition. SSSA Book Ser. 3.

Rational use of fertilization and nutrient management in orchards

Hsiang Wei-Min, Huang Wei-Tin
Agriculture Chemistry Division, TARI

Abstract

High fertilizer input and inefficient and limited use of soil test and plant analysis for nutrient diagnosis resulted in soil acidification and unbalanced soil nutrient status such as relatively high soil available phosphorous and low soil potassium content. Leaf nutrient diagnosis information also indicated very high content of nitrogen and phosphorous with relatively low content of potassium and magnesium prevailingly observed in Taiwan orchards.

As fruit tree is perennial crop with root system distributed deeper within soil profile, thus be affected by soil fertility of different layers. Furthermore, the variation of soil fertility and property are large in orchard, fertilization recommendation and nutrient monitoring can not be solely dependant on soil testing. Hence plant analysis with leaf sampling of less variation seems to serve as a better tool for nutrient diagnosis. Yet, there are challenges and limitation for plant analysis, because complex and instable phenological cycles influencing uptake

and translocation of inorganic nutrient, difficult assessment of soil supply capacity by routine soil test due to wide and deep root system and plant tissue or organs' storage of nutrients buffering short term shortage of inorganic nutrient occurred in tropical and subtropical fruit trees. Nevertheless, yearly long-term accumulated analytical data still serve as an important tool to understand the relation between nutrient management and fruit production.

Field study and research is in much need to be conducted to improve nutrient diagnosis .Establishment and promotion on rational use of fertilization and nutrient management have to deal with both commercial requirements and demands of social and natural environment. Not only upgrading the efficiency of fertilizer, raise the income and crop yields but efforts have to be made to maintain soil quality, reduce water and air pollution and conserve better quality of natural environment. Nutrient diagnosis of soil test and plant analysis together with fertilization methods including fertigation are to be discussed in detail looking forward to be beneficial to fruit cultivation.